



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Mikael Lemberg

# Tuotantolinjan tehokkuuden parantaminen SMED-menetelmän avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

16.9.2019

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Mikael Lemberg Tuotantolinjan tehokkuuden parantaminen SMED- menetelmän avulla 29 sivua + 3 liitettä 16.9.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Yliopettaja Kai Laitinen Diplomi-insinööri Juha Leppänen
<p>Insinööri työ tehtiin Cembrit Production Oy:lle, joka on yksi maailman johtavista kuitusementtilevyjen valmistajista. Työn tarkoituksena oli kartoittaa uudemman kuivaus- ja sahalinjan tuotantoprosessin nykytila ja löytää mahdollisia parannuskeinoja tuotannon tehostamiseen. Työn tavoitteena oli parantaa linjaston OEE:ta 65 %:sta 70 %:iin.</p> <p>Työssä käytettiin apuna raakadataa vuosilta 2010–2016 ja sitä analysoimalla selvitettiin kehityskohteet, joita parantamalla asetetut tavoitteet saavutettaisiin. Tässä työssä painopiste oli vahvasti linjaston vaihtoajoissa, joiden optimoinnilla saavutettava hyöty olisi erittäin arvokas.</p> <p>Työn tuloksena olisi mahdollista laskennallisesti saavuttaa yli 16 %:n tuotannon lisäys vuositasona. Levymäärinä tämä tarkoittaa noin 100 000 kpl enemmän. Tällä tuotantomäärän lisäyksellä olisi myös suuri vaikutus myös OEE:n osalta, joka nousisi 73 %:iin.</p>	
Avainsanat	tuotannon tehokkuus, OEE, vaihtoaika

Author Title	Mikael Lemberg Improving the efficiency of a production line by SMED- technique
Number of Pages Date	29 pages + 3 appendices 16 September 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Professional Major	
Instructors	Kai Laitinen, Principal Lecturer Juha Leppänen, Master of Science
<p>The final year project was conducted for Cembrit Production Oy, one of the world's leading manufacturers of fiber cement boards. The purpose of this project was to determine the current state of the production process of the new drying and sawing line and to find possible remedies for the production processes. The aim of the project was to improve the OEE of the line from 65 % to 70 %.</p> <p>The project utilized raw data for the years 2010 to 2016, which was analyzed to define the development targets. By improving these targets, the goals would be achieved. In this project, the focus was on optimizing the changeovers of which the output would be very valuable.</p> <p>As an outcome of the project, it would computationally be possible to achieve a yearly increase of more than 16 % of production. As an annual volume this means nearly 100,000 more boards. This increase in production would also have a major impact on OEE, which would increase to 73 %.</p>	
Keywords	production efficiency, OEE, changeover

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tuotanto ja tehokkuus	2
2.1	5S	4
2.2	Jatkuva parantaminen	6
2.3	SMED	7
2.4	TPM	9
3	Kuitusementtilevyjen valmistusprosessi	9
4	Tuotelinjojen kuvaus	11
4.1	Kuivauslinjat	11
4.2	Sahalinjat	12
4.3	Vaihtotapahtuma	14
4.3.1	Kuivauslinja	14
4.3.2	Sahalinja	15
5	Datan analysointi	15
5.1	Vaihdot	17
5.2	Tuotannolliset häiriöt	19
5.3	Suunnitellut seisokit	20
6	Koeajot	23
6.1	Koejärjestelyt	23
6.2	Koeajon kulku	23
7	Johtopäätökset ja suositukset	26
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. SMED-taulukko	
	Liite 2. Koesuunnitelma	
	Liite 3. Koeajon yhteenveto	

## Lyhenteet

5S	5S on työkalu, jolla kehitetään siisteyttä ja ylläpidetään järjestystä.
JIT	Just in time. Lean tuotantofilosofian mukaan pyritään tuotteita valmistaan juuri oikeaan tarpeeseen ja antaa asiakkaille sitä mitä he haluavat, silloin kun he sitä haluavat, tietyn laatuksena ja hyödyntäen mahdollisimman vähän voimavaroja (koneet, työvoima, tila ja keskeneräiset työt).
OEE	Overall Equipment Effectiveness. Tuottavuutta mittaava tunnusluku, joka lasketaan käytettävyyden, nopeuden ja laadun tulona.
SA	Sisäinen aika. Vaihtoaikojen erottelussa käytetty termi, jossa vaihtoon liittyviä toimenpiteitä ei voida suorittaa koneen käydessä.
SMED	Single Minute Exchange of Dies. Tämä liittyy vaihtoajan lyhentämiseen vaihdettaessa tuotannossa olevaa tuotetta seuraavaan.
TPM	Total productive maintenance eli kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito pyrkii varmistamaan, että tuotantolaitteet ovat luotettavasti operaattoreiden käytettävissä niin, että koneiden rikkoontumisilta ja koneiden aiheuttamilta laatuvirheiltä vältytään.
UA	Ulkoinen aika. Vaihtoaikojen erottelussa käytetty termi, jossa vaihtoon liittyviä toimenpiteitä voidaan suorittaa koneen käydessä.

## 1 Johdanto

Cembrit Production Oy on yksi maailman suurimmista kuitusementtisten tasolevyjen valmistajista, markkinoijista ja kehittäjistä. Yritys kuuluu tanskalaiseen Cembrit Holding A/S -yrittäjäperheeseen, jonka omistaa tanskalais-ruotsalainen sijoitusyhtiö Solix. Cembrit Production Oy:n liikevaihto vuonna 2015 oli noin 35,3 miljoonaa euroa. Yritys on toiminut Suomessa vuodesta 1959 Lohjan Muijalassa [1.] (Kuva 1).

Nykyaikaisessa teollisuudessa kilpailu on kovaa ja muutoksia tapahtuu jatkuvasti. Siksi on erityisen tärkeää pysyä mukana kehityksessä. Kehitystyöllä onkin suuri painoarvo, sillä yritysten on jatkuvasti kehityttävä ja löydettävä tehokkaampia toimintatapoja ja lisäksi asiat on kyettävä tekemään halvemmallalla. Tämä insinöörityö on tehty Cembrit Production Oy:n toimeksiannosta, ja siinä käsitellään yhden tuotantolinjan tehokkuuden parantamista muun muassa raakadatan analysoinnin, ennakoivan huollon sekä vaihtoaikojen optimoinnin avulla.

Kysynnän kehitys on jatkunut markkinoilla positiivisena, ja sen takia tuotantomääriä on jouduttu kasvattamaan niin, että on ajankohtaista selvittää, voidaanko tuotantotehokkuutta vielä parantaa optimoinnin avulla. Tuotantolaitteiston kuormitus on nykyisellään jatkuvaa, jolloin ennakoivan huollon tärkeys korostuu entisestään. Tämän työn tuotantolinja kuuluu prosessin loppuosaan ja siksi se on erityisen kriittinen osa tuotantoa. Linjaston on toimittava luotettavasti ja tehokkaasti läpimenoaikojen varmistamiseksi laadusta tinkimättä.



Kuva 1. Ilmakuva Lohjan tehtaasta.

## Työn tavoitteet ja tutkimusongelma

Insinööriyön tavoitteina on löytää toimivia menetelmiä, jotka yhdessä kunnossapidon ja vaihtoaikojen optimoinnin kanssa parantavat tehokkuutta. Työn ensisijaisena tavoitteena on parantaa ja tehostaa linjaston toimintaa analysoimalla raakadataa vuosilta 2010–2016. Työssä pyritään analysoinnin avulla selvittämään, toimiiko prosessi täydellä tehokkuudella vai löytyisikö prosessista jotakin kehitettävää. Nykyisellään linjaston tavoite OEE on 65 %, ja sitä pyritään tämän työn avulla nostamaan 70 %:iin. Vuosien varrella on moni asia muuttunut, ja juuri siitä syystä on hyvä hetki tarkastella aihetta pidemmältä ajanjaksolta. Suurimpina muutoksina voidaan lähtökohtaisesti pitää massatuotantoajattelun siirtymistä enemmän räätälöidymppään ja asiakaslähtöisempään tuotantoon, jossa tuotantoerät ovat huomattavasti pienempiä ja läpimenoajat lyhyempiä. Lean-tuotantofilosofian mukaisesti hukkaa on pyritty poistamaan jokaiselta tuotannon ja muun tekemisen osa-alueelta. JIT-ajattelu ohjaa siis yrityksen toimintaa ja siksi tällä työllä onkin hyvin keskeinen rooli tilanteessa, jossa kilpailu alalla on todella kovaa ja jatkuva kehittyminen ja tehostaminen ovat yritysten elinehto.

Työ rajattiin käsittelemään uudempaa kuivauslinjaa ja siihen liittyvää sahalinjaa nykyisellä keskeytyvällä kolmivuorotyöllä. Tarkoituksena on saada tärkeää tutkimustietoa prosessin nykytilasta ja tuloksista, joita voitaisiin jatkossa soveltaa ja hyödyntää myös muilla työpisteillä.

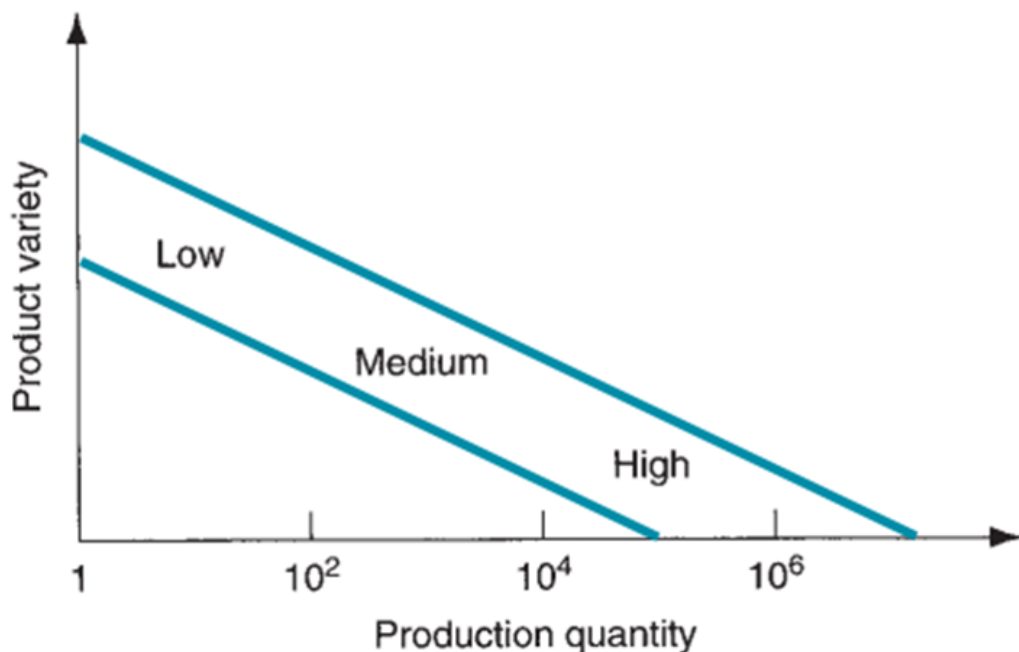
## 2 Tuotanto ja tehokkuus

Tuotanto koostuu monista eri osatekijöistä, jossa ihmiset, prosessit ja järjestelmät yhdessä ovat suunniteltu muovaamaan tietystä rajoitetusta materiaalivalikoimasta tuotteen, jolla on lisääntynyt arvo. [2, s. 6.]

OEE (Overall Equipment Effectiveness) on alun perin Seiichi Nakajiman vuonna 1988 kehittämän total productive maintenance -järjestelmän yksi osa-alue. OEE on maailmanlaajuisesti tunnettu ja laajasti käytössä oleva tuotannon tuottavuutta mittaava menetelmä. Se jakautuu kolmeen eri tekijään (käytettävyyden, nopeus ja laatu) ja mittaa sitä, kuinka tehokkaasti käytettävissä oleva aika hyödynnetään laadusta tinkimättä. OEE-mittauksen etuina ovat muun muassa ongelmakohtien esiin tuominen, esimerkiksi jon-

kin yksittäisen koneen tai laitteen jatkuva rikkoontuminen. Lisäksi menetelmä antaa hyvän yleiskuvan yrityksen tehokkuudesta. [3, s. 473.]

Massatuotantoajattelun siirtyminen asiakas lähtöisempään tuotantomalliin on vaikuttanut tuotantomääriin alla esitetyn kuvan mukaisesti. Tuotevalikoiman ja tuotantomäärien välinen riippuvuus erillisessä tuotevalmistuksessa (kuva 2) osoittaa, kuinka tuotevalikoiman kasvattaminen ja asiakastarpeiden räätälöinti vaikuttavat tuotantomääriin. Tämä tähtää varastosaldojen pienentämiseen ja ennen kaikkea oikeiden tuotteiden tuottamiseen oikeaan aikaan JIT-periaatteiden mukaisesti. Näin saadaan vapautettua varastoihin sitoutunutta pääomaa.



Kuva 2. Tuotevalikoiman vaikutus tuotantomäärään [2, s. 6.]

Nämä kolme elementtiä muodostavat alustan nykyaikaiselle valmistukselle. Valmistuskapasiteetti riippuu tuotantolaitoksen teknisistä ja fyysisistä rajoituksista ja nämä voidaan jakaa edelleen kolmeen eri alaryhmään, (1) teknologinen prosessointikyky, (2) tuotteen fyysinen koko ja paino ja (3) tuotantokapasiteetti. [2, s. 7.]

#### 1) Teknologinen prosessointikyky



Teknologinen prosessointikyky tarkoittaa yrityksen käytettävissä olevien valmistusprosessien joukkoa. Esimerkiksi autotehtaalla ei ole mahdollista suorittaa kaikkia tuotantovaiheita, joten tarvitaan useita eri tehtaita, jotka valmistavat erilaisia tuotteita lopputuotteen aikaansaattamiseksi. Lisäksi teknologinen prosessointikyky liittyy vahvasti materiaalityyppiin, koska tietty valmistusprosessi sopii vain tietylle materiaalille. Erikoistumalla tiettyyn prosessiin tai joukkoon prosesseja erikoistutaan myös tiettyyn materiaaliin.

## 2) Tuotteen fyysisen koon ja painon luomat rajoitteet

Toisena valmistuskykyä rajoittavana tekijänä voidaan pitää fyysistä lopputuotetta, sillä tietyllä joukolla prosesseja varustetulla tehtaalla voidaan valmistaa vain rajatusti erikokoisia ja painoisia tuotteita. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tehtaiden konekanta ja niiden valmistuskyky määrää, minkä kokoisia ja painoisia tuotteita voidaan valmistaa.

## 3) Tuotantokapasiteetti

Kolmantena rajoittavana tekijänä on tuotantomäärä, jonka tehdas pystyy tuottamaan tietyssä ajanjaksossa (esimerkiksi viikossa, kuukaudessa tai vuodessa). Tuotantokapasiteetti voidaan määritellä tehtaan maksimi nopeudella, jonka tuotanto kykenee saavuttamaan oletettujen tuotanto-olosuhteiden vallitessa. Tuotanto-olosuhteilla tarkoitetaan tässä tapauksessa esimerkiksi vuorojen määrää viikossa, kuinka monta tuntia vuorossa on ja työvoiman määrää tuotantolaitoksessa. Nämä tekijät luovat edellytykset tuotantolaitoksen menestymiselle. Menestystä mitataan usein tonneina tai tuotettuina kappaleina vuodessa. [2, s. 7.]

### 2.1 5S

5S on Japanissa kehitetty työpaikkojen organisointiin ja työmenetelmien standardointiin keskittyvä menetelmä, jonka tavoitteena on kasvattaa työn tuottavuutta. Tähän pyritään lean-filosofian mukaisesti välttämällä kaikenlaista hukkaamista ja tuhlaamista, poistamalla ei-arvoa tuottavaa toimintaa, parantamalla laatua ja turvallisuutta, sekä luomalla visuaalisesti miellyttävä ja tehokas työpaikka. [4.]

Lean käsittää 7 eri hukkatyyppiä, jotka ovat yleensä helposti tunnistettavissa kaikissa prosesseissa ja ajoissa tehdyillä muutoksilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Hukkatyyppejä ovat seuraavat:

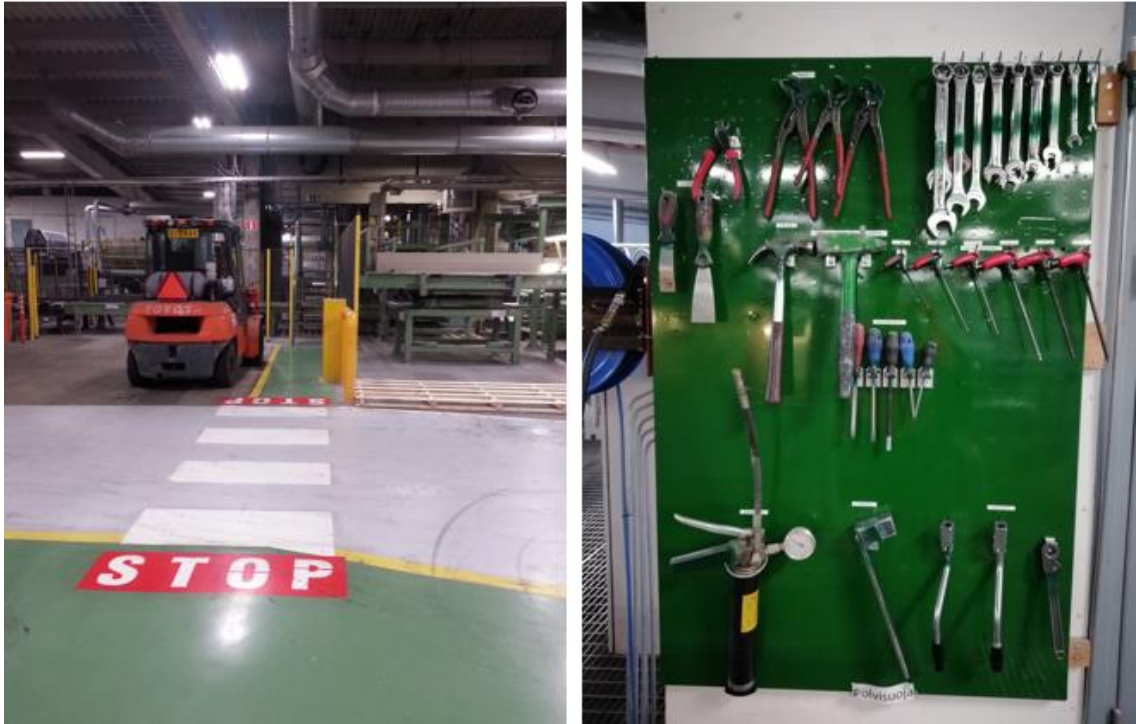
- ylituotanto  
Tuotetaan tuotteita yli tarpeiden, jolloin ne vievät tilaa ja arvokasta pääomaa sitoutuu varastoihin.
- odotusaika  
Asiakkaalle ei synny lisäarvoa, kun ihmiset, laitteet tai tuotteet odottavat seuraavaa prosessia.
- kuljetukset  
Asiakkaalle ei synny lisäarvoa, kun tuotteita liikutellaan tarpeettomasti prosessoinnin sijaan.
- varastot  
Valmistustuotteiden, puolivalmisteiden ja raaka-aineiden varastointi on kallista.
- yliprosessointi  
Kun tietty prosessin vaihe ei lisää tuotteen arvoa.
- liike  
Laitteistoa käyttävien operaattoreiden liiallinen liikehdintä on hukkaa. Liikkeellä ollessaan, operaattorit eivät voi tukea tuotteen prosessointia. Myös liiallinen tietojen, päätösten ja informaation liikuttaminen on hukkaa.
- viallinen tuote

Prosessin aikana tapahtuneet virheet — vaativat joko uudelleen käsittelyä tai lisätyötä. [5, s. 665 —666.]

On myös poikkeuksia, jossa hukka on välttämätön osa prosessia mutta jolla on arvoa lisäävä vaikutus yritykselle, jolloin sitä ei tule poistaa.

Kun prosessit jatkuvasti kehittyvät ja paranevat, ne vähentävät osaltaan hukkaa entisestään, yrityksen pyrkiessä saavuttamaan kokonaan hukattoman prosessin [5, s. 665—666].

5S pyrkii siis luomaan visuaalisesti miellyttävän työpaikan, jossa tavarat ja työkalut ovat siististi merkityillä paikoillaan ja kaikki tarpeeton on poistettu harkiten. 5S -järjestelmällä on suora vaikutus esimerkiksi vikojen ja vuotojen nopeampaan paikallistamiseen, kun toimintaympäristö on siistimpi, (Kuva 3). Standardoidut toimintatavat luovat pohjan koko lean-tuotantofilosofialle ja ovat ehdottoman tärkeitä parannusten saavuttamisessa [6, s. 157.]

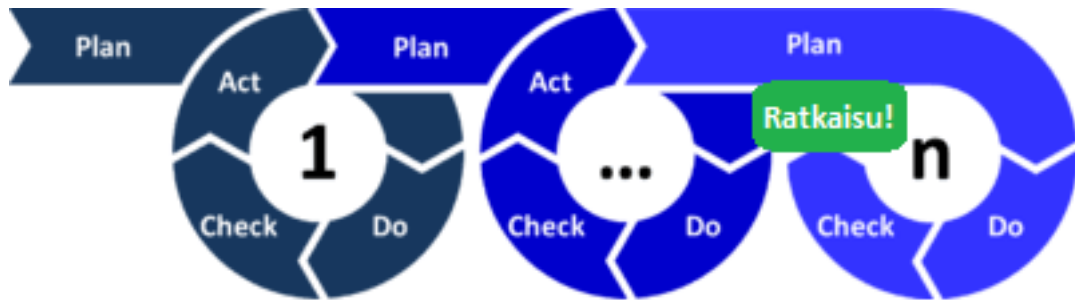


Kuva 3. Kulkuväylien selkeä merkintä ja työkaluseinällä kaikki tarvittavat työkalut.

## 2.2 Jatkuva parantaminen

Teollisuuden taistelu markkinaosuuksista on johtanut siihen, että tulosta pitää syntyä entistä enemmän mutta pienemmillä resursseilla. Tämä puolestaan tarkoittaa sitä, että on jatkuvasti kehitettävä uusia menetelmiä ja toimintatapoja, joilla asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa. Tämä onnistuu käytännössä analysoimalla toimintoja, jotta panostusta vaativat kehityskohteet saataisiin selville. Lean-ajattelun ydinajatus on jatkuva parantaminen ja yhtenä esimerkkinä toimii Demingin kehä (PDCA). Kehä on hyvin laajasti käytössä oleva Lean-työkalu (Kuva 4), jonka yksinkertainen ajatusmalli pyrkii lisäämään tuottavuutta pienen askelin. PDCA (Plan, Do, Check, Act) on eräänlainen oppimisympäristö, jossa jokaisen kierroksen jälkeen pohditaan esimerkiksi sitä, saavutettiinkö päämäärä vai pitääkö tutkimussuuntaa muuttaa. Kierto on päättymätön ja kan-

tavana ajatuksena on, että jokaisen kierroksen jälkeen opitaan jotakin uutta, mikä lopulta johtaa ratkaisun syntyyn. [6, s. 40.]

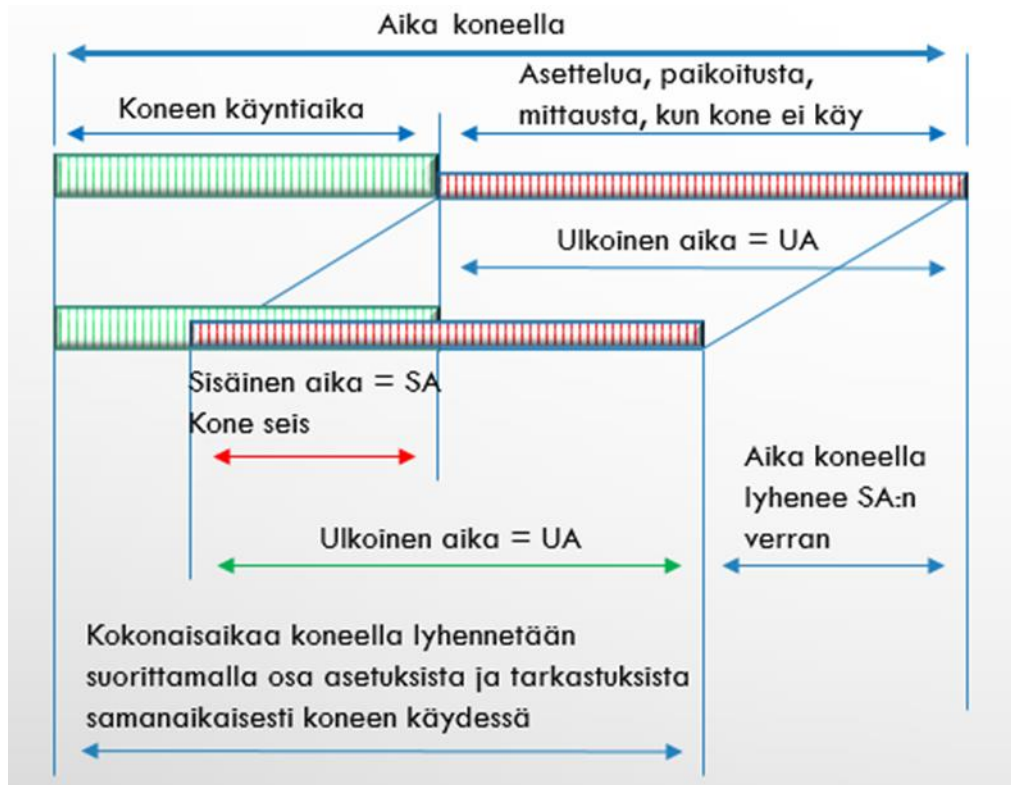


Kuva 4. PDCA-malli jatkuvasta parantamisesta.

### 2.3 SMED

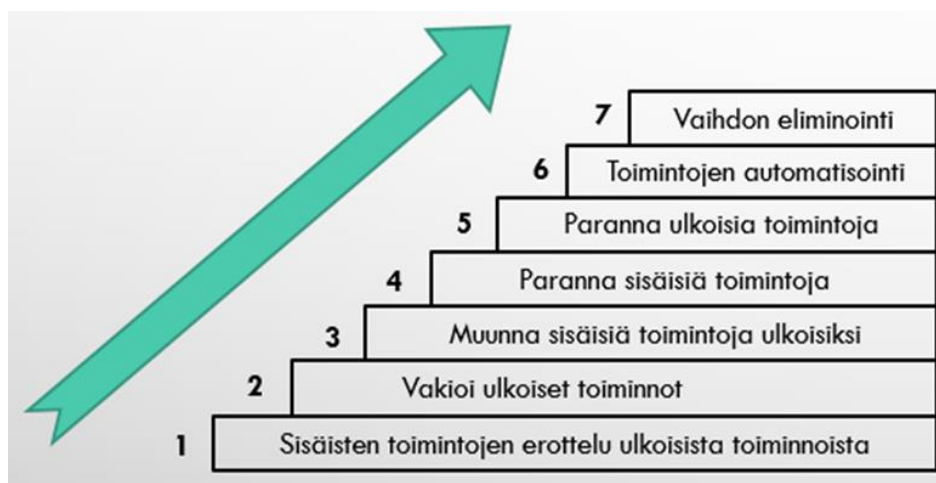
SMED eli "Single-Minute Exchange of Die" on Suomessa ja maailmalla laajasti tunnettu ja käytetty Lean-työkalu. Shigeo Shingon 1950-luvulla kehittämä metodi kehitettiin vastaamaan kasvaneisiin tuotannon joustavuusvaatimuksiin. [7, s. 1194.]

Suomeksi SMEDin voi kääntää vapaasti esimerkiksi "nopea vakioasetus" tai "nopea tuotevaihto". Perusajatuksena on, että vaihtotapahtuma pyritään kuvaamaan riittävän tarkasti, jonka jälkeen voidaan määritellä vaihdolle sisäinen ja ulkoinen asetus aika. Sisäinen asetus aika tarkoittaa sitä aikaa, jossa koneen on oltava pysäytettynä, jotta työhön liittyvät asetukset ja tukitoiminnot voidaan suorittaa turvallisesti. Ulkoinen asetus aika puolestaan tarkoittaa koneen käydessä ennakoon tehtäviä asetuksia, jotka eivät sido koneen käytettävyyttä ja kapasiteettia (Kuva 5). Päättävänä on siis saada sisäistä aikaa siirtymään ulkoiseen aikaan, jolloin vaihtotapahtumasta tulee sujuvampi ja sisäisestä asetusajan optimoinnista saadaan koneen pysähdys aika minimoitua. [8, s. 2353–2362.]



Kuva 5. Läpäisyajan lyhentäminen asetusajan avulla. [9, muokattu].

Vaihto aika tarkoittaa prosessiteollisuudessa edellisen ajon viimeisen hyvän tuotoksen ja seuraavan ajon ensimmäisen hyvän tuotoksen välistä aikaa. SMED sisältää 7 askelta, joiden avulla vaihtotapahtuma saadaan tehokkaammaksi. (Kuva 6.) Askel askeleelta suoritettujen toimenpiteiden avulla vaihto aika lyhenee. Tämän avulla vaihtotapahtumasta tulee nopeampi ja sujuvampi kuin kaikki tarpeeton tekeminen saadaan karsittua. Lisäksi läpimenoajat paranevat ja tuotantoon saadaan lisää joustoa.



Kuva 6. Portaikko esimerkki vaihtoajan lyhentämisestä. (Muokattu) [10, s.49]

## 2.4 TPM

Total productive maintenance eli kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito pyrkii varmistamaan, että tuotantolaitteet ovat luotettavasti operaattoreiden käytettävissä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että vastuuta laitteiden kunnan tarkkailusta ja huoltotoimenpiteistä siirretään myös operaattoreille kuuluvaksi, jolloin he voivat koneen käydessä suorittaa tiettyjä tarkastuksia tai huoltotoimia itse. Ajatuksena on, että operaattorit ovat parhaita ammattilaisia ja asiantuntijoita omaan linjaan liittyvissä asioissa. [11, s. 56–57.]

Kun huoltovastuuta jaetaan myös työntekijöille, tuottavuutta saadaan parannettua esimerkiksi paikantamalla huoltoa vaativat kohteet, jotka korjataan hallitusti ja suunnitellusti huoltopäivänä. Tällöin yhtäkkisiltä laitteiden rikkoontumisilta ja koneiden aiheuttamilta laatuvirheiltä vältytään. Kun isommat huoltotoimenpiteet tehdään suunnitellusti, tehtävään saadaan sidottua oikea määrä resursseja ja ikäviltä yllätyksiltä vältytään. Koneiden aiheuttamat laatuvirheet ovat hyvin kriittisiä ja ne on saatava paikannettua nopeasti, sillä pahimmillaan koko tuotantoerä menee läpi seuraavaan työvaiheeseen, jossa virhe huomataan. Tällöin on jo aivan liian myöhäistä ja tuotantoerä joudutaan valmistamaan uudelleen alusta lähtien. Oikea toimintapa olisi ollut pysäyttää sekundaarinen tuottava kone välittömästi ja korjata vikaa aiheuttava kone tai osa heti. [11, s. 56–57.]

## 3 Kuitusementtilevyjen valmistusprosessi

Tässä luvussa esitellään lyhyesti tehtaan valmistusprosessi raaka-aineista valmiiksi tuotteeksi. Kuvassa 7 on esitetty hahmotelma levynvalmistusprosessin eri työvaiheista.

### Massaosasto

Kuitusementtilevyt valmistetaan useiden eri raaka-aineiden muodostamasta massasta, jonka pääraaka-aineina ovat sementti, sellu, Polyvinyylialkoholi (PVA) ja vesi. Massa valmistetaan massa-osastolla. Massaosasto jakautuu pulpperiin ja massavalvomoon. Pulpperi valmistaa pe-rusmassan, joka ohjataan massavalvomoon. Valvomo lisää massaansa tarvittavat raaka-aineet, minkä jälkeen massa ohjataan levykoneille.

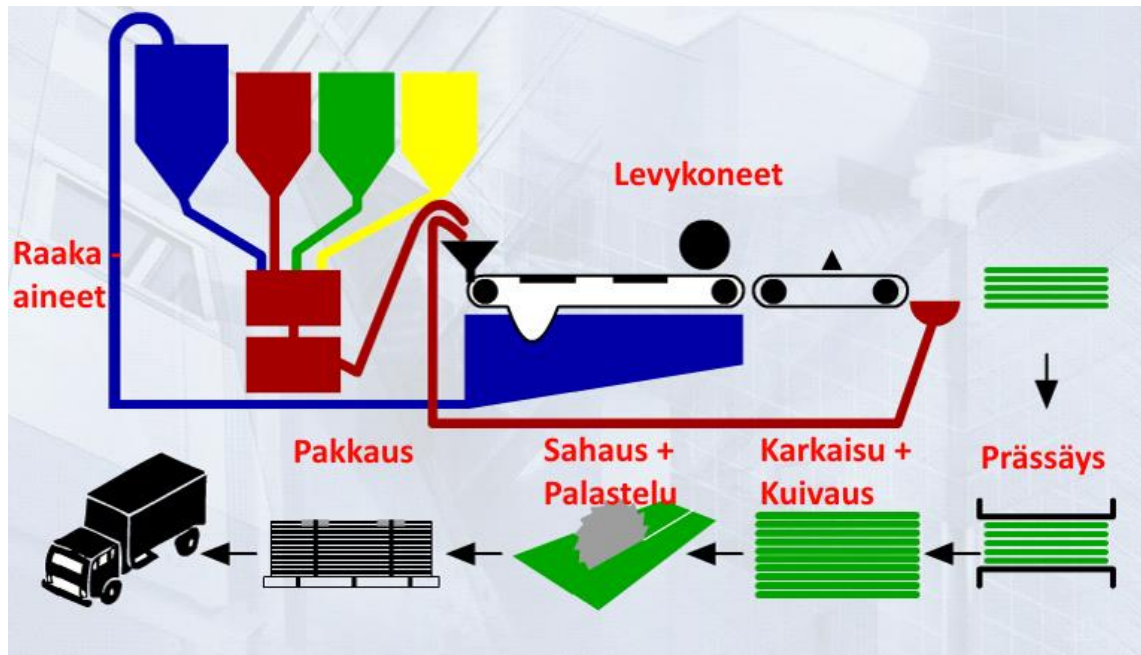
## Levykoneet ja karkaisu

Varsinainen levyaihioiden teko tapahtuu levykoneilla. Massaosastolla valmistettu massa ohjataan ensin levykoneiden kyyppeihin, josta massaa siirrettään letkupumpun avulla etusekoittajaan. Etusekoittajassa massan sakeus stabiloidaan halutulle tasolle, jonka jälkeen massa pumpataan perälaatikkoon, josta se levittyy tasaisena rainana huovalle. Huovalla massasta poistetaan liika vesi imulaatikoilla ja keräyssylinteri kerää massarainan, joka leikataan, kun levyn tavoitepaksuus on saavutettu. Levyt ladotaan sekanippuihin, jossa jokaisen levyn väliin tulee pelti kiinnitarttumisen estämiseksi. Sekaniput prässätään levytyypistä riippuen määritetyllä paineella. Sekanippu puretaan noin 12 tunnin kuluttua, jotta pellit saadaan poistettua eivätkä levyt enää tartu kiinni toisiinsa. Levynippu toimitetaan karkaisuhalliin, jossa tuotteen lujuuden annetaan kehittyä määritettyyn tavoitteeseen. Lujuuden kehitys jatkuu käytännössä niin kauan kuin vettä ja sementtiä on käytettävissä mutta levyt voidaan koestaa murtokokeilla jo kymmenen päivän ikäisinä. Mikäli koestustulokset ovat sallituissa rajoissa, levyt voidaan vapauttaa kuivaukseen. Levykoneiden tavoitteena on tuottaa erityyppisiä kuitusementtilevyjä, jotka täyttävät kyseiselle tuotteelle asetetut vaatimukset jälkikäsittelyä varten.

## Kuivaus- ja sahauslinjat

Levykonelinjoilla valmistetut kuitusementtilevyt kuivataan karkaisun jälkeen kuivauslinjalla tavoitekosteuuteen. Kuivauksen jälkeen lähes kaikki levytyypit levytuotannossa ajetaan sahalinjan läpi. Sahalinjoilla levyt sahataan määritettyihin standardimittoihin. Valmiit levypinkat siirtyvät laaduntarkastus- ja pakkauspisteen kautta myyntivarastoon. [12.]



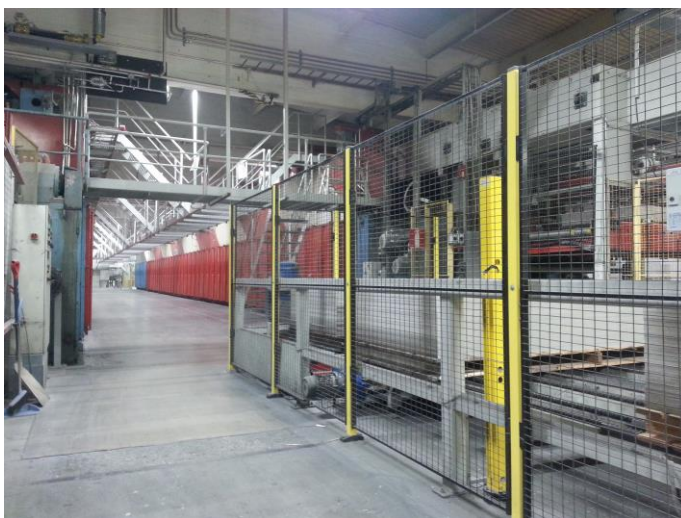


Kuva 7. Prosessin yleiskuva.

## 4 Tuotelinjojen kuvaus

### 4.1 Kuivauslinjat

Tehtaalla on kaksi kuivauslinjaa, joilla kuivataan kuitusementtisiä tasolevyjä. Kuivaus-uunit ovat nelikerroksisia maakaasulla toimivia konvektiouneja, joiden toiminta perustuu maakaasupolttimien kuumentaman ilman kierrättämiseen (Kuva 8).



Kuva 8. Kuivauslinjan syöttöpää.



Levyt kulkevat uunin sisällä neljässä eri kerroksessa, jossa kuuma ilma puhalletaan kohtisuoraan levyihin suuttimien avulla. Kuivauslinjan loppupäässä on jäähdytynosa, joka jäähdyttää levyt asetettuun tavoitelämpötilaan. Kuivausuunissa vallitsee ajon aikana alipaine ja uuni ottaa korvausilman päistään.

Molemmilla kuivausuuneilla voidaan käytännössä kuivata ristiin mitä tahansa tuotteita mutta oleellisena erona on niiden teho. Vanhempi 1990 valmistunut kuivausuuni on teholtaan 3,1 MW ja uudempi 2008 valmistunut 4,2 MW. Kuivausilman lämpötila riippuu kuivattavasta tuotteesta ja jokaiselle tuotteelle on asetettu tavoitekosteus, joka tulee kuivauksen jälkeen saavuttaa. [13.] Tästä syystä uunin lämpötila ja nopeus vaihtelevat eri tuotteiden kesken. Mitä vähemmän vaihtoja korkeita ja matalia lämpötiloja vaativien tuotteiden välillä on, sitä tehokkaampaa tuotanto on. Tämä perustuu siihen, että esimerkiksi korkean lämpötilan tuotteelta siirryttäessä matalan lämpötilan tuotteeseen joudutaan uunia jäähdyttämään. Uunin jäähdytysnopeus on riippuvainen hallin sisäilman lämpötilasta, sillä uuni ottaa korvausilman päistään. Tästä syystä, jos mahdollista, tulisi tuotevaihdossa siirtyä portaittain korkeasta- matalaan lämpötilaan ja välttää suurimpia lämpötilanmuutoksia.

#### 4.2 Sahalinjat

Molemmilla sahalinjoilla käytetään jysintyyppisiä sahoja, joiden terät on varustettu timanttipaloilla. Terät vaativat huolellista käsittelyä, jotta timantit eivät murru. Tasolevyt sahataan yksitellen ensin pitkiltä sivuilta ja sitten lyhyiltä sivuilta. Sahayksiköissä on kolme erilaista terää, joista keskimmäistä (viimeistelyterää) käytetään kaikkiin valmis-tuotteisiin. [14.] (Kuva 9)



Kuva 9. Viimeistelyterä.

Muut terät ovat rouhintaterä, jota käytetään, kun tarvitaan enemmän sahaustehoa, ja viisteterä, jolla saadaan levyihin siisti viiste. Sahaus on siis kuivauksen jälkeinen prosessi ja sahojen on toimittava moitteettomasti ja tehokkaasti, jotta kuivausuunien toiminta ei häiriintyisi. (Kuva 10) Levyt sahataan standardin mukaisiin mittoihin, minkä jälkeen levyt pinotaan latojalla pinkkoihin. Ennen levyjen pinoamista tarkistetaan levyjen suorakulmaisuus ja mitat. Tämän työvaiheen jälkeen levypinkat siirtyvät pakkauslinjalle, jossa pinkat pakataan.



Kuva 10. Sahalinja.

#### 4.3 Vaihtotapahtuma

Tuotteen vaihto on yksi tärkeimmistä yksittäisistä osatekijöistä, jotka vaikuttavat koneen käyttöasteeseen (Taulukko 1, s. 16). Tästä syystä on tärkeää, että vaihtotapahtuma sujuu ongelmitta ja operaattoreilla on asianmukaiset ohjeet ja työkalut vaihtotapahtuman suorittamiseksi. Kuivaus- ja sahalinjan lävitse kulkevat niin valmiit kuin puoli-valmisteetkin, joten erityishuomio kiinnittyy laitteiston toimivuuteen ja seisokkiaikaan. Vaihdon on tapahduttava jouhevasti ja koneiden toimittava tehokkaasti, jotta tiukat laatu-kriteerit ja läpimenoajat saavutetaan.

##### 4.3.1 Kuivauslinja

Operaattori noudattaa ajo-ohjelmaa, josta selviävät kuivaukseen tulevat tuotteet. Kuivauslinjan operaattori käy sahalinjan operaattorin kanssa läpi, mitä tuotetta seuraavaksi ajetaan. Seuraavaksi tarkistetaan tuotetietolistasta, millä parametreilla tuotetta lähetetään kuivaamaan. Asetetaan parametrit koneeseen ja tehdään muut tarvittavat asetukset, esimerkiksi latojan säätö ja pohjaleiman vaihto. Tuotteesta riippuu, täytyykö uunia lämmittää vai jäähdyttää.

#### 4.3.2 Sahalinja

Sahalinjan operaattori valmistelee tuotevaihdon tekemällä tarvittavat asettelut koneeseen. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat tuotteesta riippuen mittojen vaihto, myyntilavojen vaihto, musteprintterin päällekytkentä, raportti- ja etikettitietojen vaihto ja terien vaihto tarvittaessa. Operaattori ilmoittaa kuivauslinjalle, kun tarvittavat asettelut on tehty ja ajo voidaan aloittaa. Ajon aikana erityishuomio kiinnittyy terien kuntoon ja laadukkaaseen sahausjälkeen. Ajon aikana tehdään päätös mahdollisesta terien vaihdosta seuraavan tuotevaihdon yhteydessä.

### 5 Datan analysointi

OEE on käytettävyyden, nopeuden ja laadun tulo, joka kuvaa linjaston kokonaistehokkuutta hyvin ymmärrettävällä tavalla. Esimerkiksi kuivaus- ja sahalinja 2:n vuoden 2016 OEE-analyysiin tarvittavat tiedot kerättiin koontitaulukoista, jolloin arvot olivat seuraavat: tuotetut kappaleet 587 705 kpl, hylkyjä 9138 kpl ja linjaston kapasiteetti 218 kpl/h. Tällöin

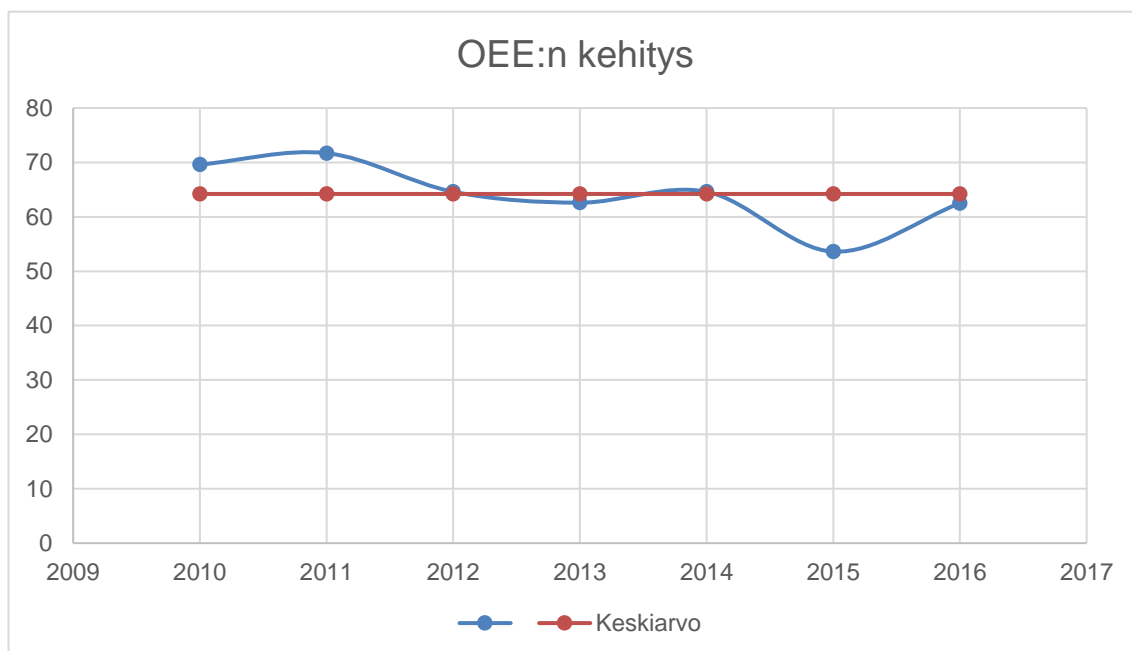
$$O = \frac{2765 \text{ h}}{4247 \text{ h}} = 0,651$$

$$E = \frac{587705 \text{ kpl}}{(2765 \text{ h} * 218 \text{ kpl})} = 0,975$$

$$E = \frac{(587705 \text{ kpl} - 9138 \text{ kpl})}{587705 \text{ kpl}} = 0,985$$

Kokonaistehokkuus linjastolla oli:  $OEE = 0,651 * 0,975 * 0,985 = 62,5 \%$

Analysointia varten kerättiin linjaston toiminnasta dataa vuosilta 2010–2016, jonka pohjalta luotiin kuvaajat lähempää tarkastelua varten. Ensimmäisenä tarkastelun kohteena on OEE, jonka keskiarvo tarkasteltavalla aikavälillä on ollut 64,2 %. (Kuva 11.) Tämä tarkoittaa, että noin 36 % ajasta hukataan tuottamattomaan työhön.



Kuva 11. OEE:n kehitys tarkasteluajanjaksolla.

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin tuottamattoman työn osuutta ja eritellään, mitkä toiminnot hukkaavat eniten tuottavuutta. Näitä toimintoja ovat muun muassa

- konevika
- sähkövika
- tuotannolliset häiriöt
- vaihtoajat
- suunniteltu seisokki.

Nämä viisi eri hukkatyyppiä edustavat suurimpia yksittäisiä toimintoja, johon hukataan eniten aikaa. Vaihtoajat, tuotannolliset häiriöt ja suunnitellut seisokit veivät vuonna 2016 eniten potentiaalista tuotantoaikaa yhteensä 25,6 %. (Taulukko 1)

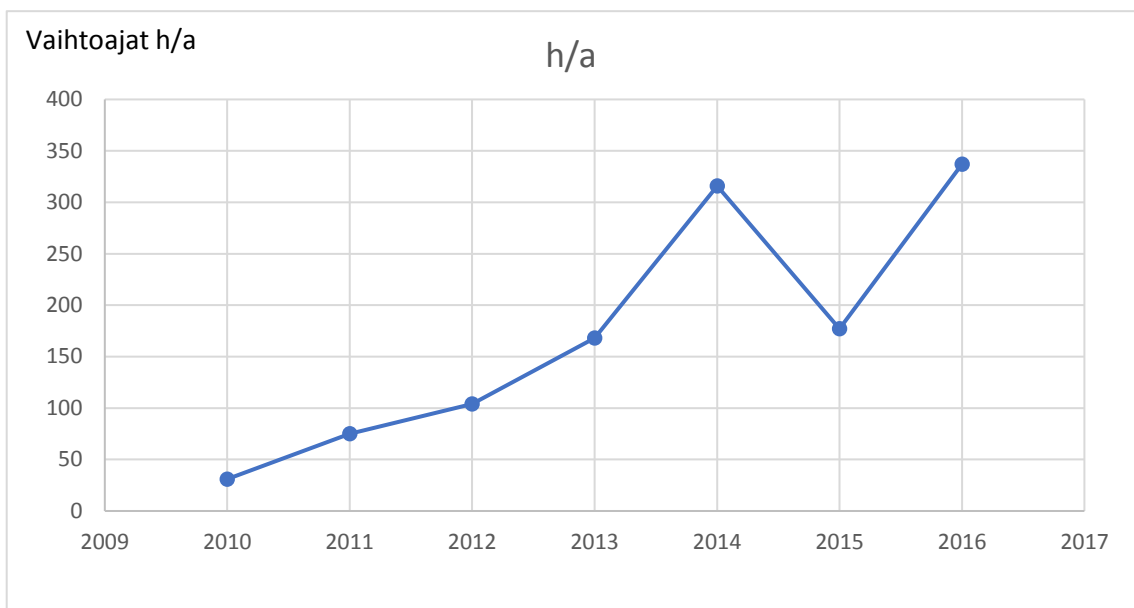
Taulukko 1. Seisokkiaikojen vertailu vuosina 2010 – 2016.

Prosentuaaliset osuudet kokonaisajoista					
	Vaihtoajat	Konevika	Sähkövika	Tuotannollinen häiriö	Suunniteltu seisakki
2010	0,7	2,6	2,6	10	14,4
2011	1,6	5,6	3,6	11,7	11,8
2012	1,9	3,5	1	12,1	15,7
2013	3,8	2,2	1,5	6,3	16,8
2014	7,2	4,1	3,5	3,6	11,6
2015	5,7	3,2	3,7	7,1	24,3
2016	7,9	3,8	3,3	7,6	10,1

Taulukon kokonaisajoista selviää hyvin, kuinka isoista ajoeristä siirtyminen pienempiin vuoden 2013 aikana johti myös vaihtoaikojen osuuden kasvuun. Suunniteltujen seisokkien osalta taas suunta on oikea, vaikkakin vuoden 2015 tulos näyttää hyvin suurelta. Tätä tulosta selittää loppuvuodesta 2014 rakennettu uusi sahalinja, jolle käännettiin suuri osa tilauksia. Uusi sahalinja kaikkine testeineen ja koeajoineen vei paljon aikaa, ja huomio kiinnittyi vahvasti sahalinjan toimintavarmuuden kehittämiseen. OEE:n kehityskuvioista (Kuva 11) on myös nähtävissä sama ilmiö, jolloin vuonna 2015 Kuivaus- ja sahalinja 2:n OEE on noin 10 % alhaisempi kuin muina vuosina. Tuotannollisen häiriön määrittäminen on raportointimielessä hankalaa, sillä siihen liittyy hyvin erityyppisiä pieniä tuotannonkatkoksia, joita ei erikseen ole tarkennettu esimerkiksi syykoodauksella.

## 5.1 Vaihdot

Vaihtoihin kului vuonna 2016 yhteensä 337 h ja keskimääräisen vaihdon kesto oli noin 45 min. Vertailua ei tehdä vaihtojen osalta muilta vuosilta, koska massatuotantoaikana vaihtojen merkitys oli ajallisesti hyvin pientä, johtuen niiden vähyydestä. (Kuva 12). Tämä aika sisältää uunin lämmitykset, jäädytykset ja kaiken asettelun ja hienosäädön, joita sekä kuivauslinjalla että sahalinjalla tarvitaan vaihdon suorittamiseksi. Tuottamaton työ syntyy vaihtojen muodossa käytännössä joka työvuorossa, kun ajoerät ovat suuruudeltaan noin 1 250 kpl. Vaihtoaikojen optimoinnilla ja tuotannonsuunnittelun laadittaman ajojärjestyksen huolellisella suunnittelulla säästytäisiin ääripäästä toiseen johtavilta vaihdoilta, jotka luonnollisesti vievät eniten aikaa.



Kuva 12. Vaihtoaikojen tuntimääräinen kehitys vuodesta 2010 alkaen.

Jo pelkästään vaihtoaikojen optimointi toteutuessaan keskimääräisestä 50 minuutista 30 minuuttiin nostaisi OEE:ta seuraavasti:

$$O = \frac{2902 \text{ h}}{4247 \text{ h}} = 0,683$$

$$E = \frac{627777 \text{ kpl}}{(2902 \text{ h} * 218 \text{ kpl})} = 0,992$$

$$E = \frac{(627777 \text{ kpl} - 10180 \text{ kpl})}{627777 \text{ kpl}} = 0,984$$

Kokonaistehokkuus linjastolla oli ennen optimointia 62,5 % ja optimoinnin jälkeen: OEE =  $0,683 * 0,992 * 0,984 = 66,7 \%$ .

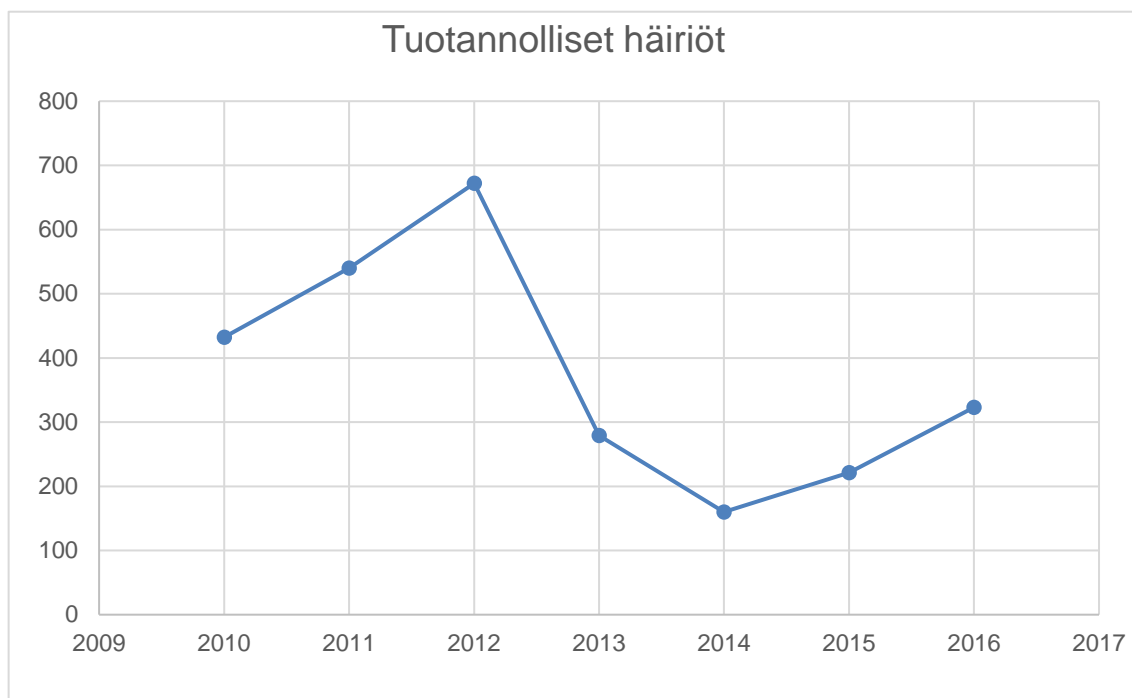
Esimerkiksi paljon lämpöä vaativilla tuotteilla jo pelkästään uunin täyttö kestää noin tunnin. Jos siitä siirrytään suoraan matalan lämpötilan tuotteisiin, kestää uunin jäähdytys tavoitearvoon pahimmillaan 1,5–2 h. Matalan kuivauslämpötilan vaativat tuotteet tulisi sijoittaa mahdollisuuksien mukaan aloituksiin, jolloin uunin lämpiämistä ei tarvitsisi odottaa kovin pitkään.

Vaihtoaikojen optimointia varten tehtiin SMED-metodin mukainen taulukko, jossa kaikki vaihtoon liittyvät ajat kelloitettiin. Vaihtotapahtuman sisäinen ja ulkoinen aika eroteltiin toisistaan, minkä jälkeen linjaoperaattoreiden kanssa käytiin keskustelua mahdollisista toimenpiteistä, joilla aikoja saataisiin pienennettyä. Keskustelujen pohjalta luotiin taulukko (Liite 1), joka (Kuvan 5) mukaisesti lyhentää läpäisyaikaa asetusajan avulla.

## 5.2 Tuotannolliset häiriöt

Tuotannollisiin häiriöihin kuuluvat kaikki pienet tuotannon katkokset, jotka poikkeavat normaaliolosuhteista. Nämä pienet katkokset muodostavat kuitenkin suhteellisen suuren tuotannon menetyksen vuosittain. Pienet katkokset voivat olla esimerkiksi kuljettimen moottorin rikkoutuminen, koneen logiikasta johtuvat pienet yllättävät ongelmat tai pahimmassa tapauksessa toiminnanohjausjärjestelmän kaatuminen. Käytännössä katkokset voivat olla mitä tahansa, josta selvittää kuitenkin pienillä toimenpiteillä ja pienessä ajassa. Usein häiriöt ovat luonteeltaan sellaisia, että sama ongelma toistuu monta kertaa ennen kuin ongelmalle löydetään ratkaisu. Mahdolliset ennakoivat toimenpiteet saattaisivat vähentää häiriöaikaa koneella huomattavasti. Vuosien 2010 – 2016 välisenä aikana tuotannolliset häiriöt veivät yhteensä 2627 h. (Kuva 13) Tämä tarkoittaa karrikoidusti sitä, että seitsemän vuoden välein on hukattu yhteensä noin vuoden verran potentiaalista käyntiaikaa. Linja seisoo pienistä häiriöstä johtuen keskimäärin noin 375 h vuodessa, joten ennakoivan huollon tärkeyttä ei voi korostaa liikaa. Yrityksen tulevaisuuden tavoitteena on lisätä ennakoivan huollon osuutta vuosi vuodelta, jolloin myös tuotannollisten häiriöiden osuus pienenee. 5S:n vaikutuksia ei tule myöskään aliarvioida, sillä esimerkiksi äkillisissä laiterikoissa kaikki linjalle kuuluvat työkalut löytyvät välittömästi ja korjaustoimenpiteet voivat alkaa heti.





Kuva 13. Häiriöajat vuodesta 2010 alkaen.

Tuotannollisten häiriöiden vähentäminen 50 h:lla nostaisi OEE:ta seuraavasti:

$$O = \frac{2952 \text{ h}}{4247 \text{ h}} = 0,695$$

$$E = \frac{637727 \text{ kpl}}{(2952 \text{ h} * 218 \text{ kpl})} = 0,991$$

$$E = \frac{(637727 \text{ kpl} - 10204 \text{ kpl})}{637727 \text{ kpl}} = 0,984$$

Kokonaistehokkuus linjastolla vaihtoaikojen ja tuotannollisten häiriöiden optimoinnin jälkeen,  $OEE = 0,695 * 0,991 * 0,984 = \mathbf{67,8 \%}$ .

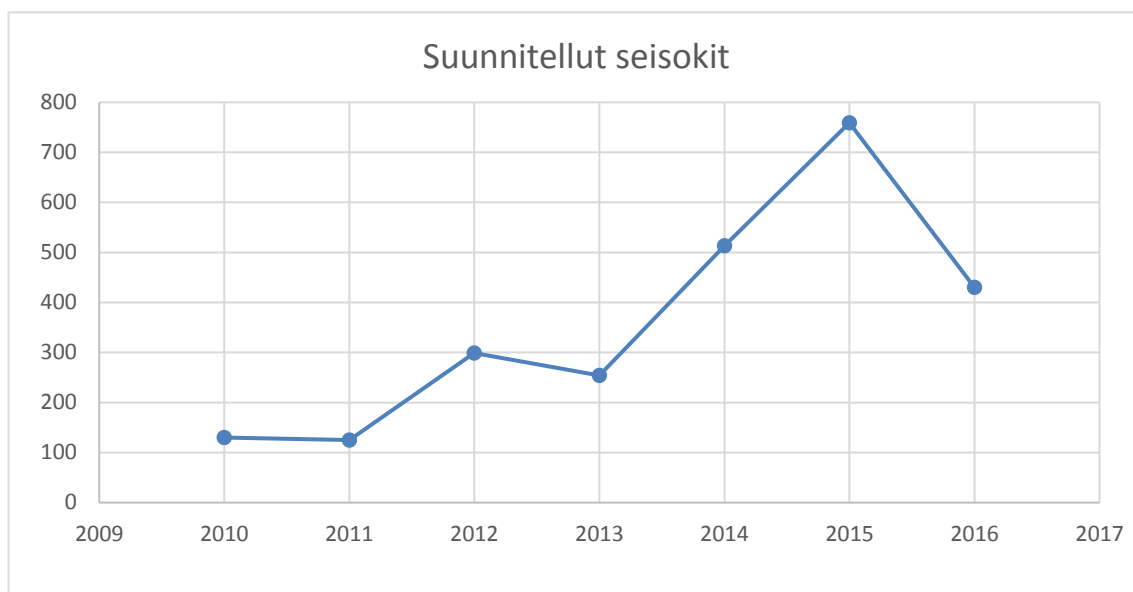
### 5.3 Suunnitellut seisokit

Suunnitellut seisokit muodostavat raportoinnin mukaan tällä hetkellä suurimman yksittäisen hukan, joka johtaa suuriin tuotannon menetyksiin. Toisaalta osa suunnitelluista seisokeista on pakollisia, esimerkiksi aloitukset, lopetukset ja viikkohuollot. Viikkohuoltojen tarkoituksena on pitää laitteisto kunnossa ja toimintakykyisenä. Siksi on ensisijai-

sen tärkeää, että huolloissa panostus kohdistetaan harkitusti oikeisiin toimiin häiriöttömän tuotannon varmistamiseksi. Operaattoreiden vaikutus ennaltaehkäisevän kunnossapidon toimivuuteen on suuri, sillä he ovat parhaimpia ammattilaisia mahdollisten laiterikkojen kartoittamisessa. He tuntevat parhaiten prosessin eri vaiheet sekä niihin liittyvät tärkeimmät laitteet.

Kun suunnitellun seisokin sarakkeeseen raportoidaan, siihen käytetään alla lueteltuja syykoodeja. Syykoodien raportoinnissa toistuu usein sama ongelma kuin muissakin kirjauksissa. Esimerkiksi esimiehen määräämä muu seisokki -koodi on tiedonkeruun kannalta melko määrittelemätön käsite, eikä se välttämättä ole tuotannonsuunnittelun tiedossa. Suunniteltujen seisokkien tulisi aina olla tuotannonsuunnittelun tiedossa, koska muuten aikataulut eivät pidä ja toimitusajat hyvin herkässä prosessissa kärsivät. Seisokkiajat ovat tarkemmin esiteltynä kuvassa 14. Tämä seisokkityyppi sisältää seuraavat syykoodit:

- ei koestustuloksia
- esimiehen määräämä muu seisokki
- huolto/pesu
- koulutus
- pekkaset
- vuorojärjestelmästä johtuva koneen alasajo
- vuorojärjestelmästä johtuva koneen ylösajo.



Kuva 14. Tuntimääräiset suunnitellut seisokkiajat eri vuosilta.

Työajan limityksellä saavutettava hyöty, jolloin aloitukset/lopetukset olisivat normaali-työajan ulkopuolella, nostaisi OEE:ta seuraavasti:

$$O = \frac{3195 \text{ h}}{4247 \text{ h}} = 0,752$$

$$E = \frac{686200 \text{ kpl}}{(3195 \text{ h} * 218 \text{ kpl})} = 0,985$$

$$E = \frac{(686200 \text{ kpl} - 11464 \text{ kpl})}{686200 \text{ kpl}} = 0,983$$

Kokonaistehokkuus linjastolla vaihtoaikojen, tuotannollisten häiriöiden ja suunniteltujen seisokkien optimoinnin jälkeen,  $OEE = 0,752 * 0,985 * 0,983 = \mathbf{72,8 \%}$ .

Vertailemalla OEE:n kehitystä huomataan, että jo yhden osa-alueen tehostamisella on suuret vaikutukset lopputulokseen. Pienilläkin muutoksilla voitaisiin saavuttaa suuria säästöjä ja lisätä kannattavuutta pelkästään tehostamalla toimintaa.

## 6 Koeajot

### 6.1 Koejärjestelyt

Koeajojen tarkoituksena oli saada luotettavaa tietoa siitä, kuinka hyvin työtä varten laadittu SMED-taulukko (Liite 1) palvelee tositilanteita ja voidaanko taulukon mukaisia tuloksia saavuttaa. Kokeen tuloksista riippuen voidaan jatkoa ajatellen luoda tarkemmat koejärjestelyt, joissa tutkitaan tarkemmin kokeen vaikutusta lopputuotteeseen. Tästä syystä koeajojen otanta pidettiin pienenä mahdollisten haittavaikutusten varalta.

Koeajojen painopiste oli vahvasti vaihtojen sujuvuudessa, ja kaikki taulukon mukaiset toimenpiteet käytiin linjaoperaattoreiden kanssa lävitse ennen koeajojen alkua. Koeajojärjestys valittiin niin, että vaihto tapahtuu korkean lämpötilan tuotteelta matalan lämpötilan tuotteelle, koska uunin jäähdytys on tällä hetkellä suurin hukka ajallisesti sen toiminnan kannalta. Tällä tavoin saatiin selvitettyä kaikki mahdolliset ongelmakohdat, joita ääripään vaihdot tuottavat. Lisäksi tämän tyyppiset vaihdot vievät eniten aikaa, koska esimerkiksi uunin jäähdytysnopeuteen ei tällä hetkellä ole mahdollisuutta vaikuttaa, koska uuni ottaa korvausilman päistään ja tehdashallin lämpötila on riippuvainen vallitsevasta säätilasta.

### 6.2 Koeajon kulku

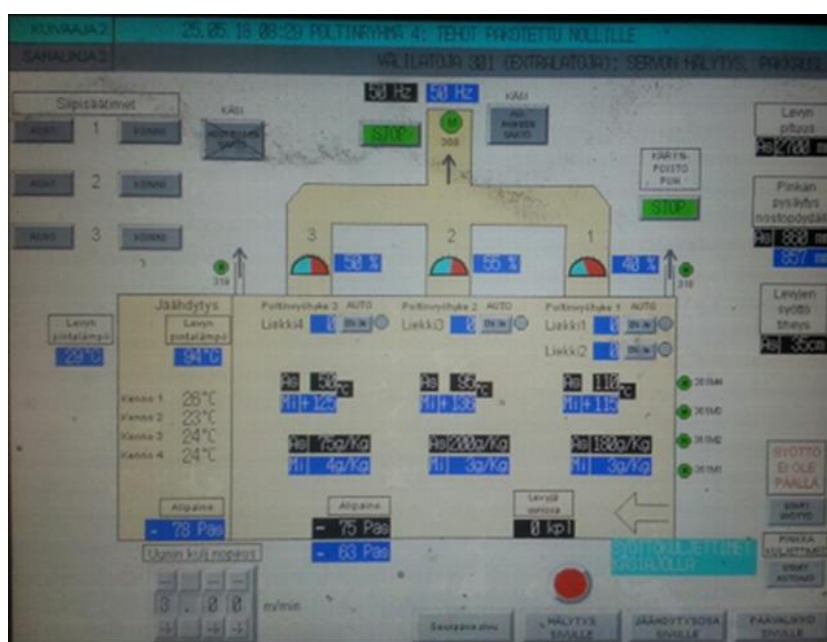
Koeajoista laadittiin koesuunnitelma (Liite 2), joka noudatti SMED-taulukon (Liite 1) mukaisia toimenpiteitä. Suunnitelma käytiin linjahenkilöstön kanssa lävitse ennen varsinaisen kokeen alkua, jotta vaihtotapahtuma olisi täysin hallittu alusta loppuun ja mahdollisilta yllätyksiltä välttyttäisiin. Koe suoritettiin tuotteilla, jotka eroavat toisistaan täysin niin teknisiltä ominaisuuksiltaan kuin ajoparametreiltaan.

Lähtötuotteena oli tuote, jonka lämpötila uunin kolmessa eri poltinvyöhykkeessä näkyy (Taulukko 2) ensimmäisellä rivillä. Toisella rivillä on kohdetuote, jonka tavoitelämpötilat eroavat lähtötuotteesta merkittävästi.

Taulukko 2. Lämpötilojen asetus- ja oloarvot.

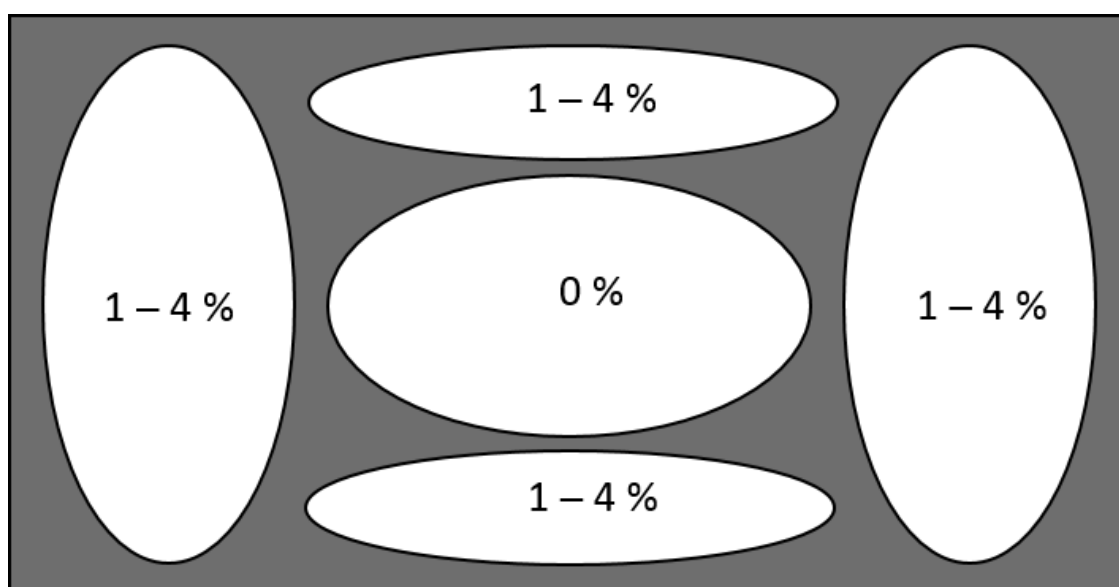
Paksuusvaihtelu (paksuuskalibrointi vähintään aina tuotteen vaihtuessa)		Lämmöt, asetusarvot			Lämmöt, oloarvot		
Keskipaksuus online-mittarista	Paksuus keskihajonta	Lämpö alku, asetusarvo	Lämpö keski, asetusarvo	Lämpö loppu, asetusarvo	Lämpö alku, oloarvo	Lämpö keski, oloarvo	Lämpö loppu, oloarvo
12,0	0,18	180	170	165	180	171	164
4,4	0,07	105	90	0	104	108	89
4,4	0,11	115	90	0			

Koeajo aloitettiin klo 9.27, jolloin viimeinen edellisen ajon levy syötettiin uuniin. Uunia jäähdytettiin normaalin 1,5–2,0 tunnin sijaan vain 45 min, jonka jälkeen uuniin syötettiin seuraavaa tuotetta 9 kpl klo 10.12. Tuotantoprosessin normaaliolosuhteissa uunia jäähdytetään niin kauan, kunnes tavoitelämpötilat ovat saavutettu ja vasta sitten aloitetaan seuraavan tuotteen syöttö. Koeajotilanteessa uunin lämpötilat poikkesivat tavoitelämpötiloista rajoitetun jäähdytysajan takia odotetusti (Kuva 15), ja seuraavan tuotteen ensimmäinen levy saatiin ulos uunista klo 10.34.



Kuva 15. Lähtötilanne, kun seuraavan tuotteen syöttö uuniin aloitettiin.

Levyjen saavuttua sahalinjalle mitattiin niistä pintakosteusmittarilla (Esko) kuvassa 16 esitetyt tulokset. Kosteusmittaus toimii levykondensaattoriperiaatteella. Kondensaattorin kapasiteetti on suhteessa materiaalin dielektrisyysvakioon, joka puolestaan on riippuvainen mitattavan materiaalin laadusta ja sen kosteuspitoisuudesta. Vedellä on erittäin korkea dielektrisyysvakio ( $\epsilon_r \approx 80$ ) verrattuna esimerkiksi ilmaan ( $\epsilon_r \approx 1$ ). Täten kostean materiaalin vesipitoisuus selviää tämän materiaalin dielektrisyysvakion määrittämisestä. Kosteutta mitattaessa mittarin mittauselektrodit painetaan mitattavaa materiaalia vasten, jolloin korkeataajuinen sähköinen mittauskenttä tunkeutuu materiaaliin. Mikroprosessori vastaanottaa mittausviestin ja laskee materiaalityypin käyrän huomioiden materiaalin keskimääräisen prosentuaalisen vesipitoisuuden (painoprosenttia).



Kuva 16. Kosteusmittarilla mitatut tulokset levyn eri kohdista.

Lisäksi yhdestä levystä toimitettiin näytepala jatkotutkimuksiin, jotta saataisiin selville näytepalan lopullinen kosteus. Kyseisen tuotteen lopullisen kosteuden raja-arvot ovat 3 –7 %. Koeajo sujui ongelmitta ja käsikosteusmittarilla saatiin viitteitä siitä, että työn tavoitteet ovat saavutettavissa. Koeajon otos pidettiin hyvin suppeana, koska haluttiin ensin varmistua siitä, että levyt täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset ja ovatko asetetut tavoitteet saavutettavissa.

Normaaliolosuhteissa uuni täytetään ensin kokonaan, minkä jälkeen kosteuksien ja lämpötilojen annetaan tasaantua ennen kuin kosteuksia ryhdytään mittaamaan. Näytepala otetaan yleisesti ajon keskivaiheilta, jolloin ajo on sujuvaa ja uunin lämpötilat pysyvät tasaisina.

## 7 Johtopäätökset ja suositukset

Tämän insinööritoiminnan tavoitteena oli kartoittaa uudemman kuivaus- ja sahalinjan tehokkuuden nykytila ja löytää keinot, joilla tehokkuutta voitaisiin parantaa. Työssä käytettiin apuna raakadatan analysointia vuosilta 2010–2016, jonka avulla selvitettiin kohteet, joihin hukataan eniten aikaa.

Analysoinnin tuloksena saatiin kehityskohteet selville ja tässä työssä keskityttiin kolmen eniten potentiaalista tuotantoaikaa vievän toiminnon kehittämiseen. Painopiste oli vahvasti vaihtoajoissa, joita lyhentämällä voitaisiin tehokkuutta ja läpimenoaikoja parantaa huomattavasti. Vaihtoaikojen optimointi tehtiin SMED-menetelmän avulla, jossa vaihdon ulkoinen ja sisäinen aika eroteltiin ensin toisistaan, jonka jälkeen ulkoisen ja sisäisen ajan toimintoja tehostettiin. Koeajojen perusteella keskimääräistä vaihtoaikaa olisi mahdollista lyhentää 50 minuutista 30 minuuttiin. Määrällisesti tämä tarkoittaa vuositasolla noin 40 000 levyn lisätuotantoa.

Tuotannolliset häiriöt vievät vuosittain yhtä paljon tuotantoaikaa kuin vaihdotkin, mutta niihin vaikuttaminen tässä työssä ei ollut mahdollista ajan rajallisuuden vuoksi. Tulevaisuudessa operaattoreilla tulee olemaan suurempi rooli ennakoivassa huollossa, sillä työpisteellä työskentelevät ovat parhaita ammattilaisia omaa linjaa koskevissa asioissa. Ennen kuin ennakkohuoltojärjestelmä toimii täydellä teholla, on linjohenkilöstön erityisen tärkeää raportoida huoltoa vaativista kohteista viipymättä, jotta mahdolliset korjaustoimenpiteet saataisiin suunniteltua mahdollisimman tehokkaasti. Laskennallisesti jo 50 tunnin parannus toisi vuositasolla yli 10 000 levyä lisää.

Tällä hetkellä suunniteltuja seisokkeja on ajallisesti paljon enemmän kuin oikeasti on suunniteltu, sillä seisokkien pitkittymisestä ei informoida tuotannonsuunnittelua. Lisäksi suunnitellut seisokit sarakkeeseen raportoidaan usein sinne kuulumatonta pysäytysaikaa. Tämä vaikeuttaa tuotannonsuunnittelun työskentelyä ja työjonon aikataulusta kun tuotannonsuunnittelijat eivät ole tietoisia ylimääräisistä seisokeista. Tämän epäkohdan mahdollistaa raportointijärjestelmä, joka ei ole tarpeeksi yksiselitteinen, vaan operaattorit voivat valita halutessaan pysäytyksen syyksi käytännössä mitä tahansa. Keskeytyvässä kolmivuorotyössä linjan ylös- ja alasajot osana suunniteltuja seisokkeja vaikuttavat merkittävästi linjaston käyttöasteeseen. Käyttöastetta voitaisiin parantaa huomattavasti työajan limityksellä siten, että ylösajoissa linjan operaattori lämmittäisi ja täyttäisi uunin kuivattavasta tuotteesta ennen varsinaisen työajan alkua. Alasajoissa puolestaan

tuotanto jatkuisi varsinaisen työajan loppuun, jonka jälkeen alkaisi uunin jäähdytys ja koneiden sammuttaminen. Työajan limityksellä saavutettavat laskennalliset hyödyt olisivat kaikista suurimmat. Tällä järjestelyllä olisi mahdollista parantaa läpimenoaikoja ja toimitusvarmuutta huomattavasti, sillä se tuottaisi vuositasolla lähes 50 000 levyä enemmän kuin nykyinen työaikajärjestely.

Toiminnan parantaminen tarkoittaa levymäärissä mitattuna vuositasolla yhteensä noin 100 000 kpl, eli yli 16 prosentin tuotannon lisäystä. OEE kohenisi nykyisestä 65 prosentin tavoitteesta 73 prosenttiin.

Johtopäätösten perusteella suositellaan seuraavaa:

1. Koeajoista saavutetut lupaavat tulokset otettaisiin lisätarkasteluun ja suoritettaisiin laajamittaisempia kokeita sekä laadun että koeajoissa saatujen tulosten varmistamiseksi.
2. OEE-analyysissa voitaisiin käyttää painotettua keskiarvoa, jossa painotus olisi vuoron tuntien mukaan /8 h. Nykyisellään raportti täytetään vasta vuoron lopussa ja linjan ollessa pysähtyneenä kirjataan aika luonnollisesti sille riville, missä on eniten ajoaikaa. Tällöin OEE saadaan paremmalle tasolle mutta haittapuolella on, että koneen pysähdyksistä raportoidut ajat saattavat päätyä väärin kohtiin, jolloin todellisia ongelmakohtia ei saada selville.
3. Valvomo-ohjelman SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) käytönotolla saavutettaisiin tarkempaa tietoa linjaston pysähdyssyistä ja vikakoh-teista, kun raportointi tapahtuu heti eikä vasta vuoron lopulla ulkomuistista. Valvomo-ohjelmisto pystyy lukemaan liittymän kautta ohjelmoitavan logiikan muistia ja rekistereitä. Tulevaisuudessa oikean tiedon hallinta ja ajantasaisuus auttavat tehokkaimmin ennakoivan kunnossapidon suunnittelua.
4. Suurin yksittäinen hyöty tulisi työajan limityksellä, jossa koneen ylös- ja alasajot viikonloppuseisokeissa jäisivät normaalin työajan ulkopuolelle.



## 8 Yhteenveto

Jatkuva kehittyminen ja prosessien tehostaminen on tärkeää kilpailukyvyn ylläpitämiseksi. Kun yksittäisiä prosesseja tarkastellaan kriittisesti, saattaa löytyä yllättäviäkin heikkouksia, joita parantamalla koko prosessia saadaan tehostettua.

Työn edetessä selvitettiin kehityskohteet, joihin hukataan eniten potentiaalista tuotantoa. Kun tehostamista vaativat kehityskohteet olivat selvillä, keskityttiin kolmeen eniten hukkaa aiheuttavaan komponenttiin. Kehityskohteiden tarkempi tarkastelu paljasti, että tuotevaihdot ovat hitaita ja tehottomia. Tuotevaihtojen määrä on moninkertaistunut muutaman vuoden aikana mutta vaihtoaika on pysynyt samana. SMED-tekniikan (Single Minute Exchange of Die) avulla saatiin vaihtotapahtumaa suoraviivaistettua ja vaihtoaika lähes puolitettua. Tarkastelusta kävi ilmi myös, että konelinjan ylös- ja alasajot vievät valtavasti tuotantoaika. Tämän osalta on jo ryhdytty toimenpiteisiin, jossa seisokin jälkeen kuivausuuni lämmitetään mahdollisuuksien mukaan valmiiksi jo ennen varsinaisen työvuoron alkua. Lähitulevaisuudessa ennakoivan kunnossapidon toimivuutta parannetaan lisäämällä operaattoreiden tekemiä tarkastuksia määritellyistä kohteista linjan käynnissäolon aikana, jolloin havaituista poikkeamista tehdään välittömästi kunnossapitojärjestelmään työpyyntö. Näin kunnossapito pystyy organisoimaan riittävät resurssit ja varaosien tilaukset huoltoa varten. Huoltoa edeltävänä päivänä pidetään huollon suunnittelupalaveri, jossa työpyynnöt ja poikkeamat käsitellään ja sovitaan tarkemmin toimenpiteistä.

Insinööritö eteni hyvin ja aihe oli erittäin mielenkiintoinen, lisäksi operaattorit olivat todella avuliaita. Työssä keskityttiin hukkaa aiheuttavien toimintojen poistoon ja toisaalta olemassa olevien toimintojen tehostamiseen. Työn tuloksena olisi mahdollista säävuttaa yli 16 prosentin tuotannon lisäys. Työn jalkauttaminen on vielä kesken ja on selvää, että ajatusmallien ja toimintatapojen uudistaminen ei tapahdu hetkessä, vaan ne ottavat oman aikansa. Päivittäisjohtamisella ja tukitoiminnoilla on tärkeä rooli muutoksen onnistuneessa läpiviemisessä.

Insinööritöä tehdessä nousi esiin monia operaattoreiden toimintatapoihin liittyviä asioita, joista valtaosa ovat hyviä ja käytännöllisiä mutta toisaalta eri vuorojen väliset toimintatavat eroavat merkittävästi toisistaan. Kuitenkin jokaisen vuoron oma näkemys omista toimintatavoista oli, että juuri heillä on paras toimintatapa. Tämän työn yhtenä

tavoitteena on luoda yhteinen toimintamalli, jota kaikki vuorot noudattavat. Samalla tulee päivittää myös olemassa olevat työohjeet.

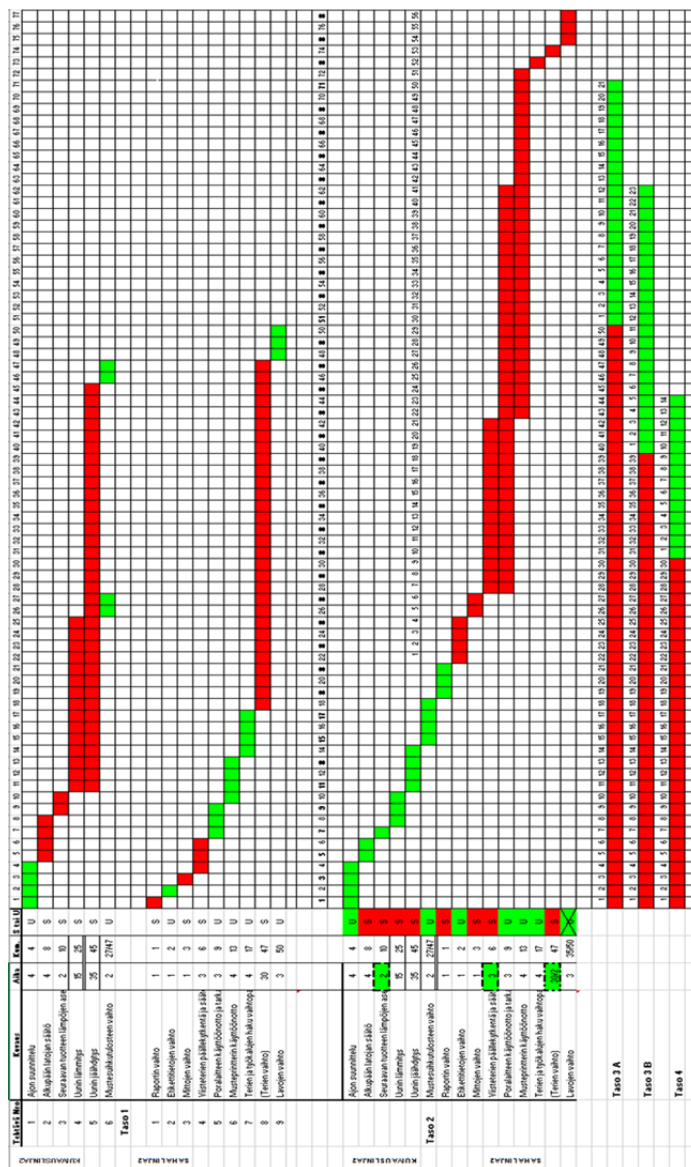
## Lähteet

- 1 Tietoa yrityksestä. Verkkoaineisto. Cembrit Oy. <<https://www.cembrit.fi/cembrit/>> Luettu 4.1.2018
- 2 Groover, Mikell P. 2010. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, Fourth Edition. JOHN WILEY & SONS, INC.
- 3 Kanthi M.N. Muthiah and Samuel H. Huang, 2006. A review of literature on manufacturing systems productivity measurement and improvement, Int. J. Industrial and Systems Engineering, Vol. 1, No. 4
- 4 Production Automation Corporation. Verkkoaineisto. PAC. <<https://www.gotopac.com/media/pdf/articles/5S-Handbook.pdf>>. Luettu 1.2.2018.
- 5 Melton T. 2005. THE BENEFITS OF LEAN MANUFACTURING What Lean Thinking has to Offer the Process Industries - Chemical engineering research and design, Elsevier.
- 6 Liker, K. Jeffrey. 2004. The Toyota Way - 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill
- 7 Ulutas Berna. 2011. An application of SMED Methodology. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering Vol:5, No:7
- 8 Pellegrini, S., Shetty, D. & Manzione, L. 2012. Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen. International Conference on Industrial Engineering and Operations.
- 9 Peltonen, Aarne. 1998. Verkkoaineisto. Läpäisyajan lyhentäminen asetusajan avulla. <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/tuottavatehdas/tehdas7.html>> Luettu 21.5.2018
- 10 Arun Abraham, Ganapathi K. N, Kailash Motwani. 2012. Setup Time Reduction through SMED Technique in a Stamping Production Line.
- 11 Womack James P, Daniel T. Jones, Daniel Roos. 1990. Machine that changed the world. Simon Schuster Ltd.
- 12 Kuitusementtilevyjen valmistusprosessi. 2008. Yrityksen sisäinen dokumentti. Cembrit Oy.

- 13 Tasolevyjen kuivauslinjakansio. Raute. 1990. Yrityksen sisäinen dokumentti. Cembrin Oy.
- 14 Sahalinjakansio. 2009. Gmc. Yrityksen sisäinen dokumentti. Cembrin Oy.

## SMED-taulukko

Vaihtoaikojen optimointitaulukko, jossa pystysarakkeessa vaihtojen sisältämät tehtävät ja niiden kesto minuutteina. Lisäksi sarakkeissa kuvattu tehtävätyyppi sen mukaan, tarvitseeko konetta pysäyttää tehtävän ajaksi. Vaakarivillä tehtävien kumulatiivinen kesto minuutteina. Taulukossa alkuperäinen tilanne ylimpänä (Taso 1), kuivaus- ja sahalinjan yhdistetty näkymä (Taso 2). Tasot 3A ja 3B optimointivaihe ja taso 4 optimoinnin jälkeinen tilanne.



## Koesuunnitelma

## KOEAJO-OHJE

Osasto: Tuotanto  
 Prosessi: Kuivaus- ja sahalinja 2  
 Laatija/päivittäjä: Mikael Lemberg

Versio: 1.0  
 Hyväksyjä: Vesa Vuorenmaa  
 Hyväksytty (pvm): 23.5.2018

CEHIBRIT

**KOEAJO**  
**VAIHTO KUUMAN LÄMPÖTILAN TUOTTEELTA MATALAN LÄMPÖTILAN TUOTTEELLE**  
**ILMAN TÄYSIMITTAISTA UUNIN JÄÄHDYTYSTÄ 23.5.2018**

## 1 Contents

KOEAJO.....	1
VAIHTO KUUMAN LÄMPÖTILAN TUOTTEELTA MATALAN LÄMPÖTILAN TUOTTEELLE ILMAN TÄYSIMITTAISTA UUNIN JÄÄHDYTYSTÄ 23.5.2018 .....	1
2 Vastuhenkilöt ja resurssit: .....	1
3 Tarkoitus ja sovellusalue: .....	1
4 Koeajon toteutus: .....	1
4.1 Koeajot .....	1
4.2 Koejärjestelyt linjastolla .....	2
4.3 Koejärjestelyt kuivauksessa .....	2
4.4 Jatkokäsittely ja varastointi .....	2
4.5 Turvallisuus, ympäristö ja siisteys: .....	2
4.6 Raportointi: .....	2

## 2 Vastuhenkilöt ja resurssit:

Koeajon käytännön toteutuksesta vastaa Mikael Lemberg, Vesa Vuorenmaa, Nina Sipilä ja kuivaus- ja sahalinjan henkilöstö.

## 3 Tarkoitus ja sovellusalue:

Koeajo koskee vaihtotapahtumaa, jossa korkean lämpötilan multiforce tuotteelta vaihdetaan vähemmän lämpöä vaativaan windstopperiin. Vaihdo suoritetaan normaalisti lukuun ottamatta uunin jäähdytystä, jota ei jäähdytetä windstopperin tuotteen vaatimalle tasolle asti.

Kokeen tavoitteena on lisätä tuottavuutta mm. minimoimalla jäähdytysaika ja syöttämällä seuraavaa tuotetta uuniin ennen tavoitelämpötilan saavuttamista. Kokeesta saadaan esimerkiksi tärkeää tutkimustietoa nykyisistä ajoparametreista ja niiden optimoinnista.

Koeajot ajetaan kuivaus- ja sahalinjalla 2.

## 4 Koeajon toteutus:

4.1 Koeajot

- Koeajon aloitus: Perjantaina (aamuvuoron/iltavuoron aikana, sopivasti tuotevaihtoon).
  - Koeajon kesto: n. 1 tunti (koeajossa ajetaan 5-10 levyä)
  - Ajettavat tuotteet: Esimerkiksi multiforce 9/12 mm ja windstopper 4,5/6/9 mm
  - Ajonumero: Tarkennetaan myöhemmin.
- HUOM! Näistä levyistä mitataan käsimittarilla kosteus ja otetaan myös 1 ylimääräinen näyte.

**KOEAJO-OHJE**

Osasto: Tuotanto  
Prosessi: Kuivaus- ja sahailinja 2  
Laatija/päivittäjä: Mikael Lemberg

Versio: 1.0  
Hyväksyjä: Vesa Vuorenmaa  
Hyväksytty (pvm): 23.5.2018

**CEMBRIT****4.2 Koejärjestelyt liniastolla**

1. Uunin jäähdytys alkaa välittömästi kun se on mahdollista.
2. Syötetään seuraavaa tuotetta (windstopper) uuniin n. 5 – 10 kpl kun alkupään lämpötila alittaa 150°C tai, kun aikaa on kulunut 30 - 45 min edellisen ajon viimeisen levyn mennessä uuniin riippumatta siitä onko, 145°C lämpötila saavutettu.
3. Ratanopeus asetetaan 2,8 – 3,0 m/min.
4. Mikäli levyt saavuttavat niille asetetut kosteustavoitteet käsimittarilla, voidaan levyt ajaa normaalisti tuotepinkkoihin. Jos kosteudet alittavat/ylittävät asetetut raja-arvot, ajetaan levyt hylkyyn.

**Muuta huomioitavaa**

- Kaikista levyistä kosteusmittaus käsimittarilla ja lisäksi yhdestä levystä normaalisti koepala uuniin. Pala merkitään nimellä Testi.

**4.3 Koejärjestelyt kuivauksessa**

Kuivaus suoritetaan nopealla ratanopeudella ja riittävän suurella levyväliillä. Tavoitteena on saada levyjen kosteus mahdollisimman lähelle raja-arvoja.

**4.4 Jatkokäsittely ja varastointi**

Mikäli käsieskolla mitatut levyt ovat raja-arvojen sisällä, voidaan levyt ajaa normaalisti pinkkaan. Jos ei, niin levyt hylätään.

**4.5 Turvallisuus, ympäristö ja siisteys**

Normaali tuotannon turvallisuusohjeistus.

**4.6 Raportointi**

Raportoidaan muun tuotannon ohella normaalisti raporttiin. Huomiosarakkeeseen käsimittarilla mitatut tulokset. Näytepalan kosteustulos uunituksen jälkeen lähetetään sähköpostilla. (mikael.lemberg@cembrit.fi)



## Koeajo yhteenveto

Koeajo yhteenveto  
 Aihe: Vaihto kuuman lämpötilan tuotteelta matalan  
 lämpötilan tuotteelle ilman täysimittaista uunin  
 jäähdytystä  
 Tekijä: Mikael Lemberg  
 Päivämäärä: 28.5.2018

CEMBRIT

Koeajo yhteenveto  
 VAIHTO KUUMAN LÄMPÖTILAN TUOTTEelta MATALAN LÄMPÖTILAN TUOTTEELLE ILMAN  
 TÄYSIMITTAISTA UUNIN JÄÄHDYTYSTÄ

## 1. Tavoite:

Koeajon tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko kuuman lämpötilan tuotteelta siirtyä matalan lämpötilan tuotteelle ilman täysimittaista uunin jäähdytystä. Kokeessa windstopper 4,5 mm levyjä syötettiin kuumaan uuniin 9 kpl, joista jokaisesta mitattiin sahalinjalla käsimittarilla (Esko) kosteus. Lisäksi loppukosteuden tarkkaa arviointia varten otettiin yksi näytepala uunitukseen.

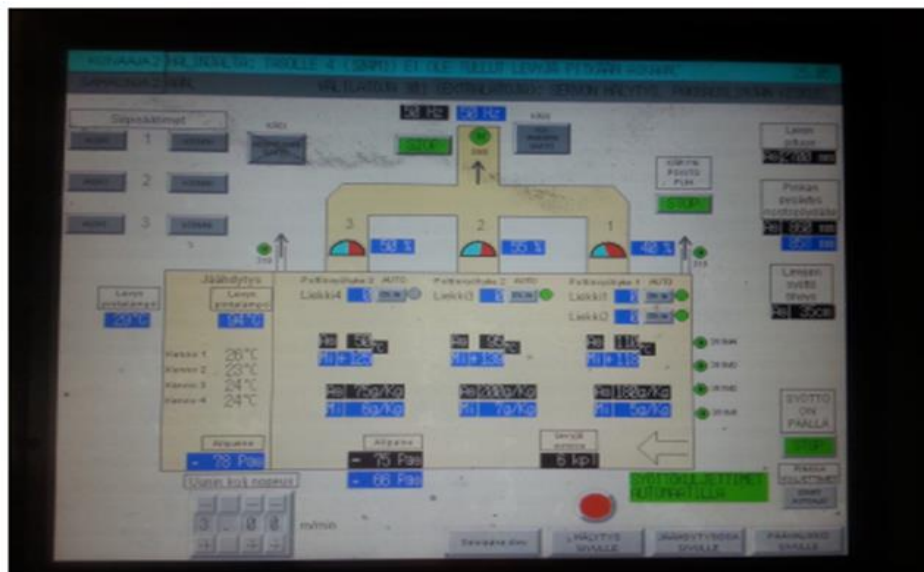
## 2. Koeajo:

Koeajo alkoi perjantaina 25.5.2018 klo: 9:27, jolloin viimeinen multforce 12 mm levy lähti uuniin. Ensimmäinen windstopper 4,5 mm levy syötettiin uuniin klo: 10:12. Sahalinjalla ensimmäinen windstopper levy klo: 10:34.

Uunin lämpötila, kun jäähdytys alkoi:

Paksuusvaihtelu (paksuuskalibrointi vähintään aina tuotteen)		Lämmöt, asetusarvot			Lämmöt, oloarvot		
Keskipaksuus online- mittarista	Paksuus keskihajonta	Lämpö alku, asetusarvo	Lämpö keski, asetusarvo	Lämpö loppu, asetusarvo	Lämpö alku, oloarvo	Lämpö keski, oloarvo	Lämpö loppu, oloarvo
12,0	0,18	180	170	165	180	171	164
4,4	0,07	105	90	0	104	108	89
4,4	0,11	115	90	0			

Uunin lämpötila, kun windstopper -levyjen syöttö aloitettiin:





Koeajossa käytetyt levyt:

44000001
45100038

### 3. Tulokset:

Kaikista levyistä saatiin käsimittarilla mitattua kosteuksia (1% – 4,9%) lukuun ottamatta levyjen keskustaa, jossa mittari näytti nollatulosta. Näytepala otettiin 8:nnesta levystä, jonka käsimittaritulos 2,9 %. Näytepalan uunituksen jälkeen lopullinen kosteus oli 2,0 %.

#### Kuivauslinja:

Ajo sujui hyvin, eikä lopputuotteessa havaittu visuaalisesti mitään poikkeavaa.

### 4. Yhteenveto:

Koeajo antoi erittäin optimistisia tuloksia siitä, että seuraavaa tuotetta voitaisiin syöttää kuumaan uuniin heikentämättä sen teknisiä ominaisuuksia. Tässä koeajossa tuotteina olivat toistensa ääripäät, joten näin rajuja lämpötilaeroja ei yleensä muiden tuotteiden/paksuuksien välillä ole. Levyissä ei havaittu visuaalisia poikkeamia koeajon seurauksena. Näytepalan loppukosteus oli 2,0 %, joten se saavutti lähestulkoon tuotteelle asetetut kosteusrajat 3,0% – 7,0 %. Lisäksi vastaavassa tilanteessa normaali uunin jäähdytys vie n. 1,5 h – 2 h, kun koeajotilanteessa aikaa kului ainoastaan 45 min.

#### Huomioitavaa:

Kuivauslinjalla ei koskaan mitata kosteuksia ensimmäisistä levyistä, sillä ne ovat aina lähes kuivia. Uunin annetaan täytyä ja kosteuksien asettua tasapainoon ennen kuin luotettavia tuloksia voidaan mitata. Sama pätee myöskin näytepalaan, joka otetaan yleensä ajon keskivaiheilla, mikäli ajo on tasaista ja sujuvaa.

Koeajosta saadun tuloksen perusteella suosittelem, että aiheeseen liittyen tehtäisiin jatkotutkimuksia mahdollisten haittavaikutuksien poissulkemiseksi.